

## THE ADAPTATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGY TO THE PATTERN REALIZATION

### WYKORZYSTANIE TECHNIK 3D PRINTING DO WYKONANIA OPRZYRZĄDOWANIA ODLEWNICZEGO

A. GIL<sup>1</sup>, P. KOWALSKI<sup>2</sup>

**ABSTRACT:** In the process of prototype pattern-making, fabrication of pattern tooling is the most time-consuming operation. Foundry patterns are made from wood, metal or epoxy resins, and after proper preparation they are subjected to manual or mechanical processing. The authors of the article present the application of Rapid Prototyping System in the manufacture of pattern equipment by means of 3D Printing technique. After the required adjustments, patterns of this type may serve as a tooling in both common and investment casting processes. The technique of 3D Printing is characterised by very high accuracy and relatively short time of pattern fabrication.

**ABSTRAKT:** Najbardziej czasochłonnym etapem powstawania odlewów prototypowych jest wykonanie oprzyrządowania modelowego. Do produkcji modeli odlewniczych stosuje się drewno, metal lub żywice epoksydowe, które po uprzednim przygotowaniu poddaje się obróbce ręcznej lub mechanicznej. Autorzy artykułu prezentują zastosowania Systemów Szybkiego Prototypowania (Rapid Prototyping System) na podstawie wykonywania oprzyrządowania modelowego za pomocą techniki drukowania 3D (3D Printing). Modele takie – po odpowiednim przygotowaniu – mogą posłużyć jako oprzyrządowanie do technologii odlewania tradycyjnego oraz technologii odlewnictwa precyzyjnego. Metoda drukowania 3D charakteryzuje się dużą dokładnością i relatywnie krótkim czasem wykonania.

**KEY WORDS:** 3D Printing; Rapid Prototyping System; pattern; casting

**SŁOWA KLUCZOWE:** Drukowanie 3D; Systemy Szybkiego Prototypowania; model; odlewanie

## 1 WPROWADZENIE

Podczas tworzenia nowego oprzyrządowania odlewniczego najistotniejszą rolę dla odlewni odgrywa szybkość oraz dokładność wykonania. W artykule skupiono się na modelach dla odlewów nie przekraczających 30 kilogramów masy. Czas produkcji takiego modelu odlewniczego wraz z ewentualnymi rdzennicami – w zależności od wielkości modelu oraz jego kształtu – wynosi od jednego do ośmiu tygodni, a w szczególnych wypadkach nawet dłużej. Materiałem służącym do budowy tradycyjnego oprzyrządowania jest drewno, metal lub różnego rodzaju żywice epoksydowe.

Wytwarzanie modeli odlewniczych polega najczęściej na mechanicznej obróbce uprzednio przygotowanych bloków drewnianych. Materiałem zastępczym dla drewna są różnego rodzaju żywice.

---

<sup>1</sup> mgr inż. Andrzej Gil – Pracownia Metod Szybkiego Prototypowania, Instytut Odlewnictwa, Kraków

<sup>2</sup> mgr inż. Piotr Kowalski – Pracownia Metod Szybkiego Prototypowania, Instytut Odlewnictwa, Kraków

Od kilkunastu lat do wykonywania modeli i rdzennic odlewniczych wykorzystuje się obrabiarki CNC, które w pełni wykonują obróbkę skrawaniem na podstawie rysunku bryłowego. Materiały wykorzystywane w tej technice to: metal, drewno, żywica oraz polistyren dla technologii pełnej formy.

Od około dziesięciu lat modele odlewnicze wykonywane są różnymi metodami szybkiego prototypowania czyli Rapid Prototyping (RP). Pierwsze maszyny tego typu powstały w latach 80. Szybkie prototypowanie to zespół technik stosowanych do wytwarzania modeli fizycznych, na podstawie trójwymiarowej dokumentacji sporządzonej w dowolnym systemie CAD (ang. Computer Aided Design) [1]. Technologia ta polega na łączeniu różnych materiałów, takich jak: tworzywo, papier, ceramika, metal lub specjalnie dobranych kompozytów. W odróżnieniu od maszyn CNC technika ta ma charakter przyrostowy (addytywny) ponieważ budowa modelu polega na dodawaniu kolejnych warstw.

W tabeli 1 przedstawiono klasyfikację metod Rapid Prototyping według stanu wyjściowego przetwarzanego materiału, które mogą być wykorzystywane do produkcji modeli odlewniczych.

**Tab. 1 - klasyfikacja metod Rapid Prototyping wg wyjściowego przetwarzanego materiału [2].**

<b>Metody RAPID PROTOTYPING</b>						
<b>Wyjściowy stan materiału</b>	<b>Ciecz</b>		<b>Ciało stałe<sup>^</sup></b>			
<b>Postać materiału</b>	<b>Ciecz</b>		<b>Drut (włókno)</b>	<b>Jedno- lub wielo-składnikowy proszek</b>		<b>Folia, papier (arkusz)</b>
<b>Istota metody</b>	Topienie i zestalanie	Polimeryzacja	Topienie i zestalanie	Topienie i zestalanie	Zestalanie spoiwem	Łączenie i wycinanie
<b>Akronim nazwy metody</b>	<b>DODJET</b>	<b>SL</b>	<b>FDM</b>	<b>SLS SLM</b>	<b>3DP</b>	<b>LOM</b>
<b>Sposób budowy</b>	Nakrapianie wtryskowe wosku i szlifowanie do zadanej grubości warstwy	Fotopolimeryzacja ciekłych polimerów	Topienie i wytłaczanie tworzyw	Spiekanie i stapianie laserowe proszków i granulatów	Sklejanie granulatów ciekłym spoiwem	Łączenie i wycinanie warstw materiału stałego

W opracowaniu tym skupiono się na metodzie drukowania przestrzennego 3DP (ang. 3D printing) wykorzystywanej w maszynie Spectrum Z<sup>TM</sup> 510. Jest to jedna z najstarszych metod RP. Opracowana została pod koniec lat osiemdziesiątych w Massachusetts Institute of Technology w Cambridge.

Powstawanie fizycznego modelu, przy użyciu drukarek 3D, składa się z kilku kroków:

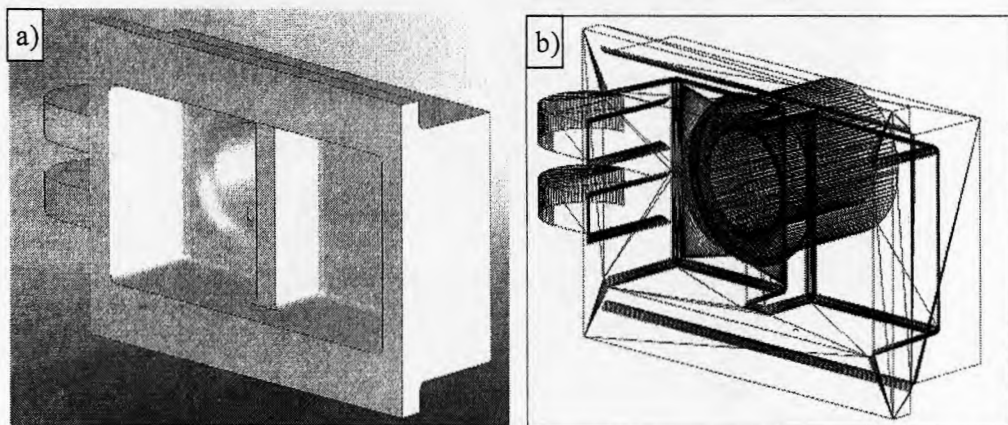
- Krok 1. Rysowanie modelu w programie komputerowym (naddatki na obróbkę, uwzględniony skurcz, itp.);
- Krok 2. Konwersja modelu bryłowego 3D do formatu STL;
- Krok 3. Transmisja pliku z rysunkiem do oprogramowania drukarki 3D.
- Krok 4. Ustalenie pozycji modelu w komorze roboczej, określenie rodzaju materiału, grubości warstwy oraz wirtualne cięcie modelu na poziome przekroje przez oprogramowanie drukarki;
- Krok 5. Budowa modelu rzeczywistego, która polega na rozprowadzeniu warstwy proszku na platformie maszyny i spajaniu cząstek odpowiednim spoiwem w miejscu odpowiadającym kształtowi danego przekroju.
- Krok 6. Obróbka wykańczająca – oczyszczenie modelu rzeczywistego z niezwiązanych cząstek proszku, wstępne wygładzenie powierzchni, utwardzenie (infiltrowanie) powierzchni, szlifowanie powierzchni, szpachlowanie oraz ewentualne lakierowanie.

Do drukowania przestrzennego stosuje się mieszanki ceramiczno gipsowe (proszek ZP 131), ze względu na łatwość spojenia. Zastosowanym spoiwem w jego przypadku jest woda oraz różnego rodzaju przyspieszacze. Tak wykonane modele są kruche i porowate, dlatego dla poprawienia ich wytrzymałości – po wstępnym oczyszczeniu – model utwardza się różnego rodzaju infiltratorami. Stosowanie infiltratorów ma charakter powierzchniowy, dlatego rodzaj i sposób nanoszenia ma duży wpływ na twardość modelu.

## 2 PRZYGOTOWANIE BRYŁY DO DRUKOWANIA NA PODSTAWIE TRÓJWYMIAROWEJ DOKUMENTACJI

Punktem wyjściowym do wytworzenia modelu rzeczywistego jest rysunek bryłowy który został narysowany w dowolnym edytorze graficznym CAD, czyli tak zwana dokumentacja trójwymiarowa (model 3D). W przypadku modelu odlewniczego lub rdzennicy należy pamiętać, że rysunek ten powinien posiadać naddatki na obróbkę oraz pochylenia odlewnicze ponieważ model wydrukowany będzie wyglądał dokładnie tak jak jego dokumentacja 3D. Dlatego należy również wziąć pod uwagę skalę objętościową, która reprezentuje sumę wszystkich skurczów uwzględnianych w procesie odlewniczym. Jeżeli technologia uwzględnia podział odlewniczy, taką bryłę należy podzielić i traktować jako niezależne modele podczas drukowania, pamiętając o uwzględnieniu kołków ustalających. Często zdarza się że gabaryty modelu są większe od wymiarów komory roboczej drukarki. W takim wypadku model można podzielić na kilka mniejszych części, a po wydrukowaniu skleić. Należy przy tym pamiętać aby na podziale znajdowały się tak zwane zamki ustalające, które zapobiegają pomyłce oraz przestawieniu podczas klejenia rzeczywistych części modelu.

Po dokonaniu tych operacji należy sprawdzić czy bryła nie zawiera błędów. Jest to czynność indywidualna dla każdego programu graficznego CAD. Następnym krokiem jest konwersja i eksport rysunku bryłowego do postaci pliku STL. Format STL (nazwa pochodzi od pierwszej techniki szybkiego prototypowania – stereolitografii) jest to sposób przedstawienia modelu 3D w postaci trójkątów (rys. 1).



Rys. 1 – a) Postać cieniowana z krawędziami; b) STL bryły 3D.

Powyższe czynności są wspólne dla wszystkich metod szybkiego prototypowania. Dalsze operacje przygotowawcze odbywają się już w programie sterującym ZPrint™. Pierwszą czynnością jest import bryły STL, podczas którego należy uwzględnić tą samą jednostkę miary, którą wcześniej wybrano w czasie eksportu. Następnie należy umiejscowić model w wirtualnej skrzynce roboczej tak, aby model był ułożony jak najbardziej efektywnie, to znaczy czas drukowania był jak najkrótszy. Czas wydruku w osiach x i y jest znacznie krótszy niż w osi z. Dla przykładu: podczas gdy czas wybudowania danego modelu wynosi jedną godzinę, to wybudowanie dwóch takich samych modeli leżących obok siebie wynosi około siedemdziesięciu minut.

W drukarce 3D można wykorzystywać różnego rodzaju materiały. Charakteryzują się one różnym skurczem podczas budowania. Dlatego istotny jest poprawny wybór materiału. Dzięki temu program automatycznie skaluje model 3D tak, aby różnice rzeczywistego wyrobu do modelu 3D były jak najmniejsze. Następnie należy wybrać grubość warstwy, która może wynosić od 0,08 mm do 0,2 mm. Podczas kolejnej operacji program, na podstawie bryły STL, dzieli model na poszczególne warstwy poziome o ustalonej wcześniej grubości oraz wyznacza obszary w których ma być naniesione spoiwo.

### 3 DRUKOWANIE 3D

Gdy wszystkie parametry druku są ustawione rozpoczyna się budowa modelu, którą można opisać w dwóch szczególnych etapach. Pierwszy to rozprowadzenie rolką warstwy proszku o nadanej wcześniej grubości na całą powierzchnię roboczej. W drugim etapie głowica drukarki nanosi spoiwo na powierzchnię kolejnej warstwy proszku. Jest to analogiczny etap jaki możemy obserwować w drukarkach atramentowych. Na rysunku 2 pokazano wnętrze drukarki 3D. Widzimy dwie komory: lewa jest to zasobnik z proszkiem, a prawa komora robocza. Wymiary komory roboczej, a zarazem maksymalne gabaryty budowanego modelu wynoszą: 10" x 14" x 8" (254 x 356 x 203 mm).

Czas drukowania modelu widocznego na rysunku 3 o wymiarach 220 x 130 x 100 mm wynisi 3.5 godziny



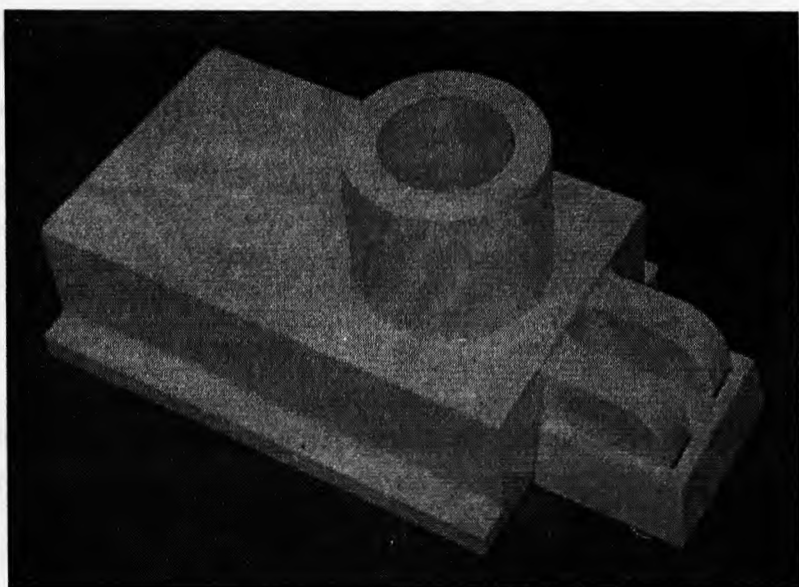
Rys. 2 – Drukarka Spectrum Z™ 510

### 4 OBRÓBKĄ MODELU

Po odczekaniu godziny od zakończenia drukowania (czas potrzebny na utwardzenie ostatnich warstw) model jest gotowy do wyciągnięcia. Należy to robić bardzo ostrożnie ponieważ model jest kruchy, szczególnie jego górna powierzchnia. Następnie w specjalnej komorze z odciąganiem za pomocą pędzelka i miniaturowego pistoletu oczyszcza się model z resztek nieutwardzonego proszku. Kolejnym krokiem jest suszenie modelu w suszarce w temperaturze 40°C. Po około dwóch godzinach, gdy model jest wysuszony, poddajemy go nasączeniu (infiltracji) żywicą. Nanosimy kilka warstw żywicy za pomocą pędzla, a potem umieszczamy model w komorze próżniowej celem zwiększenia penetracji w głąb modelu. Po całkowitym utwardzeniu żywicy na model napylamy



szpachlę, którą po wyschnięciu szlifujemy, aż do otrzymania powierzchni o żądanej gładkości. Ostatnią czynnością jest lakierowanie. Tak wykończony model trafia na stanowisko formowania. Na rysunku 3 pokazany jest model odlewniczy wykonany techniką druku 3D oraz odlew.



Rys. 3 – Model odlewniczy oraz odlew.

## 5 WNIOSKI

Po przeprowadzeniu doświadczeń, a także na podstawie dotychczasowych prac autorów można wysunąć następujące wnioski:

- Aby dostatecznie utwardzić model wykonywany w technice 3DP, należy kilkakrotnie rozprowadzić żywicę epoksydową na powierzchni oraz odpowietrzyć model w próżni. Próżnia intensyfikuje wnikanie żywicy w głąb modelu.
- Model wytworzony technikami Szybkiego Prototypowania może być wykorzystywany w technologii odlewniczej tradycyjnej jako model odlewniczy, ale również jako model matka do produkcji formy silikonowej, w której wykonane będą modele woskowe dla technologii odlewnictwa precyzyjnego.
- Techniki RP mogą być wykorzystane również do wykonywania modeli tradycyjnych lub części płyt modelowych
- Obróbka mechaniczna oraz naprawa modelu RP jest dokonywana takimi samymi narzędziami oraz materiałami jak model drewniany. .

## 3 LITERATURA

- [1] BUBICZ M.: Raport: Szybkie prototypowanie cz. I – przegląd dostępnych rozwiązań. Maszyny, materiały, zastosowania. / Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 6(09) czerwiec, 2008, p. 14 - 21.
- [2] OSZOŚ K. E.: Rola i znaczenie Rapid-technologii w budowie maszyn i medycynie/ Materiały konferencji: Rapid-technologie w budowie maszyn i medycynie, Poznań, 2008.

*The work is sponsored by the Ministry of Science and Higher Education of Poland under the project No. OR 00004005*